

Har valet av vältans mönster effekt på fukthalt och temperatur i buntat skogsbränsle vid lagring?

Does the windrow pattern affect moisture content and temperature in bundled forest fuels during storage?



Anders Ellingsson & Peter Johansson



Kandidatarbeten i Skogsvetenskap

Fakulteten för skogsvetenskap,
Sveriges lantbruksuniversitet

Enhet/Unit	Institutionen för skogens ekologi och skötsel <i>Department of Forest Ecology and Management</i>
Författare/Author	Anders Ellingsson & Peter Johansson
Titel, Sv	Har valet av vältans mönster effekt på fukthalt och temperatur i buntat skogsbränsle vid lagring?
Titel, Eng	<i>Does the windrow pattern affect moisture content and temperature in bundled forest fuels during storage?</i>
Nyckelord/ Keywords	Gallring, återfuktning, densitet, täckning, biobränsle <i>Thinning, rewetting, density, coverage, biofuel</i>
Handledare/Supervisor	Dan Bergström, SLU, Institutionen för Skogens biomaterial och teknologi
Examinator/Examiner	Tommy Mörling Institutionen för skogens ekologi och skötsel/ <i>Department of Forest Ecology and Management</i>
Kurstitel/Course	Kandidatarbete i skogsvetenskap Bachelor Degree in Forest Science
Kurskod	EX0592
Program	Jägmästarprogrammet
Omfattning på arbetet/	15 hp
Nivå och fördjupning på arbetet	G2E
Utgivningsort	Umeå
Utgivningsår	2016

FÖRORD

Författarna har analyserat data insamlad vid ett tidigare genomfört lagringsförsök av buntade unga träd.

Vi tackar följande personer för att de hjälpt oss under arbetets gång:

Vår handledare
Dan Bergström, SLU

För att ha försett och hjälpt oss med data
Raul Fernandez Lacruz, SLU

För hjälp med de statistiska analyserna
Kenneth Nyström, SLU
Anders Muszta, SLU

Vi vill även tacka Institutionen för Skogens biomaterial och teknologi som bidragit med bilder från försöket.

April 2016

Anders Ellingsson & Peter Johansson

SAMMANFATTNING

Studiens syfte var att jämföra om vältans mönster och användning av täckpapp har någon effekt på torkningen av buntat skogsbränsle. Liknande studier har främst genomförts på grotvältor. Dessa studier visar bland annat att täckning kan ha en positiv effekt på torkning och att det sker en återfuktning under höst- och vintermånaderna. En annan studie visar att korsläggning av buntar gav en extra bra effekt vad gäller torkning.

Buntarna från denna studie bestod av klena träd från förstagallringar. Av dessa byggdes vältor med parallella eller korslagda mönster, täckta och otäckta samt bestående av olika träslag. Fukthalten mättes innan högarna konstruerades (24-25 juni 2014) och försöket pågick fram till och med den tionde december då vältorna demonterades och den slutgiltiga fukthalten mättes.

Under lagringsperioden loggades även temperaturen inom och utanför vältorna för att se om vältornas olika konstruktioner hade påverkat deras innertemperatur.

Studien visar inte på någon signifikant skillnad mellan olika vältmönster eller om vältorna var täckta eller inte med avseende på fukthalt. Ingående fukthalt var i genomsnitt 47 procent och hade minskat till i cirka 40 procent vid lagringens slut, en minskning med i medeltal åtta procent. Temperaturen inne i vältan skiljde sig signifikant mellan de olika konstruktionerna. Vad denna temperatur-skillnad beror på är oklart, men kan troligen delvis förklaras av vältornas densitet. Då korslagda buntar i tätare konstruktioner höll värmen längre än glesare vältor.

Nyckelord: Gallring, återfuktning, densitet, täckning, biobränsle

SUMMARY

The purpose of the study was to compare if the pattern of the windrows and the use of cover sheets has any effect on the drying of bundled forest fuels. Similar studies have mainly focused on non-bundled forest residues. These studies have shown that the use of covering can have a positive effect on the drying process and that the material re-moister during the autumn and winter months. One study concludes that crosswise stacking of bundles especially affected the drying effect positively.

The bundles were made of young small diameter trees cut from early thinnings. Windrows were constructed out of these bundles with parallel and crosswise patterns, covered or uncovered and from different tree species. The moisture content was sampled and measured prior to the construction of the windrows (June 24th-25th 2014) and the experiment ended the 10th of December, when the windrows were deconstructed and the final moisture content was measured.

The temperature was logged during the storage period, inside and outside the windrows to see if the different patterns of the windrows had affected their inner temperature.

The study does not show any significance between the different windrow patterns or if the windrows were covered or not when it comes to the decrease in moisture content. Initial moisture content was 47 percent and had decreased to 40 percent by the end of the study, an average decrease of eight percent. The temperature inside the windrows differed significantly between the different windrow constructions. The influencing factors behind the temperature difference, is thus unclear, but can likely be partly explained by the windrows different densities. As cross wised bundles in denser constructions kept the internal heat longer than less dense windrows.

Keywords: Thinning, rewetting, density, coverage, biofuel

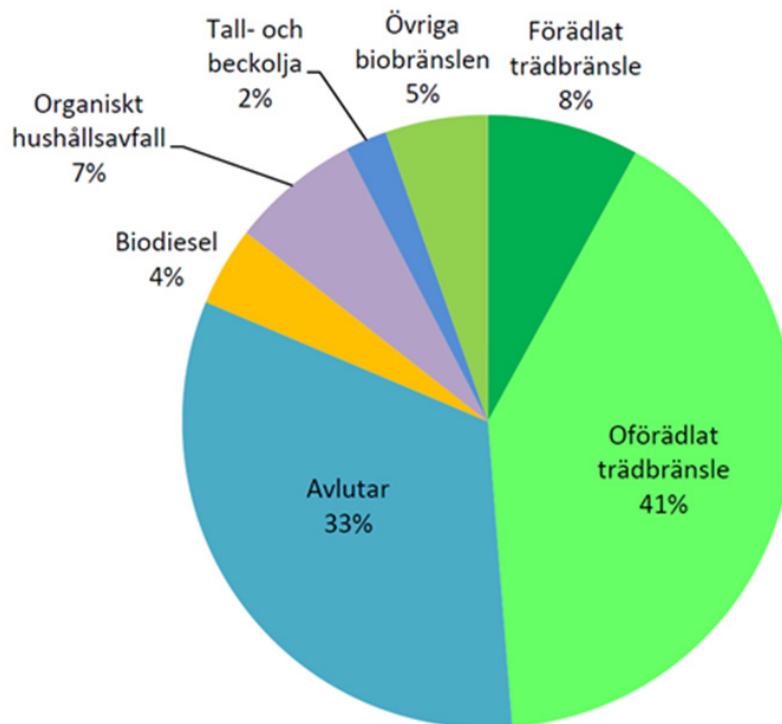
INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1. INLEDNING.....	6
1.1 Bakgrund	6
1.2 Lagring och placering.....	7
1.3 Fukthalt.....	7
1.4 Väder, temperatur och årstid	8
1.5 Problemformulering	10
1.6 Syfte	10
2. MATERIAL OCH METOD.....	11
2.1 Maskin och lokal	11
2.2 Avlägg och läge.....	12
2.3 Mönster.....	13
2.4 Fukthalt och temperatur.....	14
2.5 Normalperioden och förhållanden under lagringen.....	17
2.6 Databearbetning.....	18
3. RESULTAT	20
3.1 Torkning.....	20
3.2 Täckpapp och fukthalt.....	21
3.3 Fukthalt och vältmönster	21
3.4 Temperatur och vältmönster.....	24
3.5 Temperaturförändring under kortare perioder.....	25
4. DISKUSSION	28
4.1 Täckpappens inverkan på torkningen.....	28
4.2 Vältmönstrets inverkan på torkningen.....	29
4.3 Vältmönstrets inverkan på temperaturen.....	30
4.4 Rekommendationer	32
4.5 Slutsatser	33
5. REFERENSER	34

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

År 2013 utgjorde bibränslen cirka 20 procent av Sveriges totala energiförbrukning, 41 procent av dessa var oförädlad trädbränsle (Figur 1) (Statens energimyndighet, 2015a). Av de 41 procenten utgjordes cirka 56 procent (Statens energimyndighet, 2015b) av primära skogsbränslen, det vill säga material skördat specifikt för energiutvinning (Skogforsk, 2011). Sverige och EU har som mål att öka andelen förnybar energi till 50 procent respektive 20 procent av den totala energianvändningen år 2020 (Statens energimyndighet, 2015a).



Figur 1: Fördelning av Sveriges totala biobränsleanvändning 2013

Figure 1: Distribution of Sweden's total use of biofuels in 2013

(Statens energimyndighet, 2015a)

Skogsbränslepriserna har de senaste åren sjunkit (Statens energimyndighet, 2015c), vilket ökar kraven på effektivitet i utvinningsprocessen. Samtidigt finns det outnyttjat potentiellt bio-bränsle i tidiga, klena gallringar. Idag lämnas de avverkade träden ofta kvar i skogen på grund av att dimensionerna inte är tillräckligt grova (under 8 cm i brösthöjdsdiameter) för att använda till massaved. För att tillvarata klena träd kostnadseffektivt krävs specialanpassad teknik, exempelvis med färre moment som ackumulerande skördar- och fällningsaggregat (Bergström et al. 2010). Ett nytt system som utvecklats av Fixteri Oy i Finland bygger på att med hjälp av en skördare avverka och bunta ihop flera hela träd till 2,6 meter långa buntar vilka sedan transporteras till avlägg med skotare. Detta istället för dagens dominerande metod där grot och ej kvistade träd transporteras ut till avlägg med skotare. Fixteri Oy hävdar att buntarna dels ger bättre logistik och dels torkar snabbt (Fixteri, 2016).

1.2 Lagring och placering

Det är svårt att undvika lagring av biobränslen. En stor del av produktionen sker under sommarhalvåret då efterfrågan är låg och bränslet behöver därför lagras till kallare perioder då behovet är större. Behovet av lagring kan även påverkas av rådande väderförhållanden, priser och möjligheten till samordning av transporter. Således bör bränslet lagras på bästa möjliga sätt för att exempelvis undvika en alltför stor minskning av bränslevärdet via substansförluster (Lehtikangas, 1999). Vid torkning är valet av vältans placering viktig och en plats bör väljas som är både vind- och solexponerad (Persson, 2009). Rekommendationen är att vältan bör placeras på ett torrt underlag som inte ansamlar vatten. Kortsidan bör riktas bort från den förhärskande vind-riktningen, det vill säga långsidan skall vändas vinkelrätt mot vinden för optimal vindgenomströmning.

Tester på lagring vid fyra olika lokaler, varav två under december till november (11 månader) och två september till mars (6 månader) har visat att täckning med täckpapp av vältan ger en cirka tio procentenheter lägre medelfukthalt jämfört med en icke täckt vältan (Lehtikangas & Jirjis, 1993a). Dessa rekommendationer är framtagna utifrån studier på grot. Motsvarande studie med löst buntad grot resulterade dock i samma bränslekvalitet som för obuntad grot. Täckning av buntarna gav även snabbare torkning och mindre återfuktning (Lehtikangas & Jirjis, 1993b). Persson (2009) gav det praktiska rådet:

”Hanteringen bör omgärdas av samma tänk som när ved ska torka, eller när kläder torkas utomhus!” – Persson, 2009, 8:1

Likt ”torkning av kläder” liknelsen ovan kan en genomströmning av luft skapas i vältan genom att placera buntarna i ett luftigt korsmönster (Andersson & Nordén, 2000). Med Fixteris buntteknik skapas möjligheten att stapla biobränslet i ett korsmönster, till skillnad från de traditionella högarna efter en avverkning med grotuttag av obearbetat bränsle (Pöyry, 2014).

1.3 Fukthalt

Effektivt värmevärde är hur mycket energi som kan utvinnas från bränslet. Effektivt värmevärde mäts i mega joule per kilogram torrsubstans (Lehtikangas, 1999). För att få ett högt effektivt värmevärde är det viktigt att biobränslet har en låg fukthalt. Substansförlusten minskar vid en låg fukthalt, detta då den mikrobiella nedbrytningen avtar ju torrare materialet blir. Fukthalten påverkas av flera variabler bland annat temperatur, nederbörd, lagrets struktur och placering (Lehtikangas, 1999). Fukthalt räknas ut enligt följande formel:

$$\text{Fukthalt (\%)} = 100 - \left(\frac{\text{torr massa}}{\text{rå massa}} * 100 \right)$$

Fukthalten varierar mellan ett träds olika delar, årstider och även mellan arter (Tabell 1). För stamved och grenar är fuktigheten högre under vintern för att sedan minska under sommar-månaderna (Esping, 1992). Dock har stamved oftast avsevärt högre fukthalt än grenar (Lehtikangas, 1999).

Tabell 1: Fukthalts (%) variation mellan trädslag och träddeelar

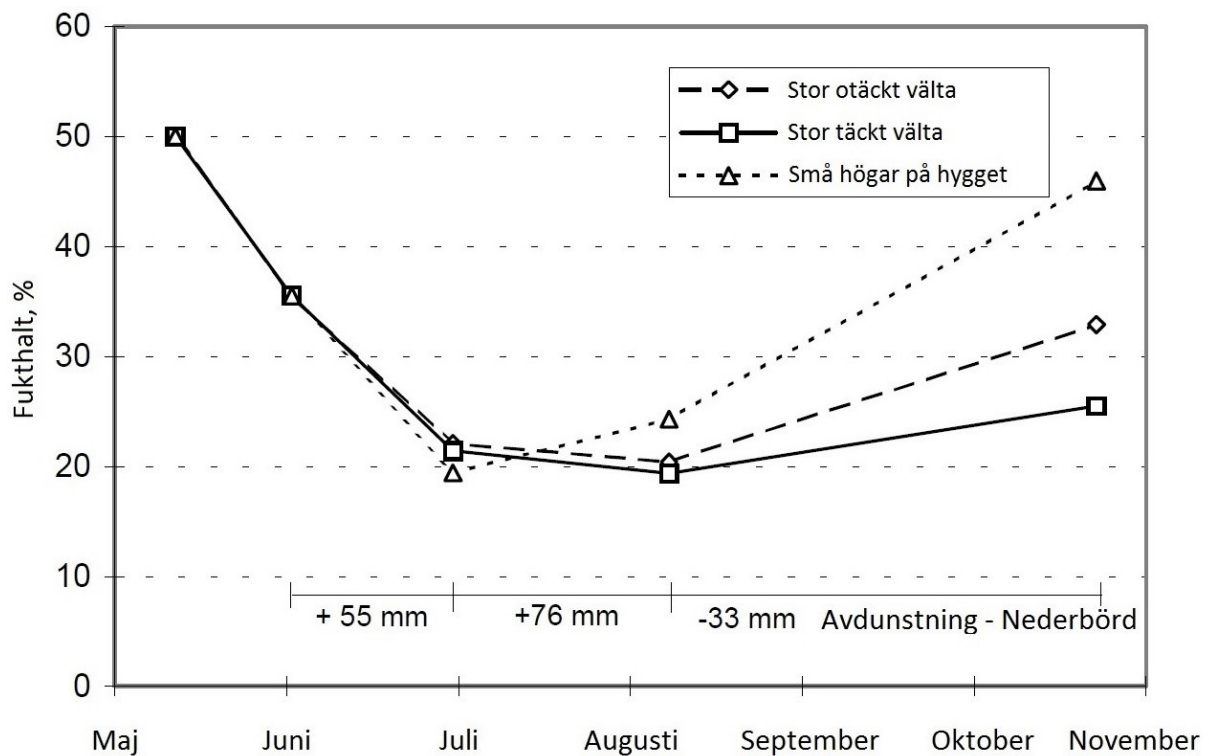
Table 1: Moisture content (%) variations between trees and tree parts (Lehtikangas, 1999)

Trädslag	Stamved (%)	Bark (%)	Grenar (%)
Tall (<i>Pinus sylvestris</i>)	45-60	35-65	51-56
Björk (<i>Betula pubescens/pendula</i>)	35-50	50 (näver 15-20)	39-44
Gran (<i>Picea abies</i>)	40-60	45-65	42-46

Vid lagring tenderar finfraktioner (<5mm, ofta barr och smågrenar) från grotvältans övre del att ansamlas i dess mellersta lager. Då de mindre fraktionerna lättare absorberar fukt från omgivningen torkar detta lager långsammare än vältans övriga delar (Lehtikangas, 1993a). I en studie av Thörnqvist (1984) utgjorde finfraktionen barr cirka 20 procent av torrmassan hos färsk grot och under sommarlagring minskar andelen barr till cirka tio procent. Efter augusti månad minskade inte barrandelen nämnvärt. Högarna hade torkat på hygget och barren ramlade främst av vid uttransport. Uttaget skedde dock manuellt gren för gren. Troligtvis hade barrförlusten minskat om en grip hade använts vilken fångar upp mer material. Den totala substansförlusten var lägre när färskt grot transporterades ut direkt och lagrades i vält (Thörnqvist, 1984).

1.4 Väder, temperatur och årstid

Väder, vind och årstid har effekt på vältans fukthalt efter lagring. Tidigare studier har visat att från maj till början av juli minskar fukthalten i grotvältor för att sedan öka måttligt under juli till september och därefter sker en snabbare återfuktning. Utöver den årliga trenden kan tillfälligt avvikande väderlek ha stor inverkan på fukthalten, exempelvis ger längre regnperioder en större ytvatteneffekt på en vältas yttersta lager (Flinkman et al. 1986). En annan studie har visat på en återfuktning med början i juli och augusti (Figur 2) (Hillebrand, 2000). Dessa studier pekar på ett generellt mönster gällande fukthalt över året vilken varierar med årets nederbörd och temperatur.



Figur 2: Fukthaltens förändring i grot från gran (*Picea abies*), maj till och med oktober samt differensen avdunstning - nederbörd

Figure 2: Changes in moisture content from Norway spruce (*Picea abies*), from May until October and the difference evaporation - precipitation (Hillebrand et al., 2000)

Under vinterhalvåret kan återfuktningen öka om snö lägger sig över vältorna. Det blir störst effekt på löst packat material där infiltration (inträngning) kan ske djupare i högen. Infiltration består av nederbörd i form av regn eller snö (Pettersson & Nordfjell, 2007).

Temperaturen inne i vältor av icke sönderdelat bränsle är beroende av vältans densitet. Ju hårdare komprimerad en vält är desto mindre luftgenomströmning sker, vilket leder till högre temperaturer inne i dess mitt. Vad gäller icke sönderdelad grot påverkas temperaturen oftast först vid en vält större än 100 kubikmeter travvolym (m^3t). Mindre stackar tenderar till att ha en alltför låg fastvolymprocent (densitet) för att påverkas. Vältor större än 600 m^3t kan exempelvis ha en temperaturskillnad som är 10-20 grader högre än omgivningen. Temperaturen kan även öka av mikrobiella nedbrytningsprocesser. Processerna sker främst i sönderdelat material och mellan 5 - 60 grader Celsius. Effekten är således lägre vid lagring av hela stammar (Lehtikangas, 1999).

1.5 Problemformulering

Majoriteten av tidigare studier är baserade på grot som lagrats i obearbetad eller flisad form. Fokus ligger ofta på annat än lagrets mönster. I en undersökning om komprimerad grot gjord av Skogforsk nämner de att lagringen sker i ett korsmönster med 30 graders vinkel mellan buntarna, fem rader hög. I diskussionen och slutsatsen nämner de inte vältans mönster och eventuell inverkan det kan ha haft på exempelvis fukthalten och därmed resultatet (Andersson & Nordén, 2000). Det finns även relativt få studier av buntad eller balad grot och än färre av det samma för klena hela träd. En av de få studier som har utförts på buntning av klena träd är gjord av det finländska konsultföretaget Pöyry på uppdrag av maskintillverkaren Fixteri Oy. De har bland annat jämfört vältans mönster med avseende på fukthalten vid korsläggning eller vanlig välta där buntarna ligger parallellt. En av slutsatserna de drog var att de korslagda vältorna torkade bättre än de parallella. Pöyry har dock inte med några täckta vältor i sin studie och har således inte undersökt täckpappens effekt på torkningen (Pöyry, 2014). Lehtikangas & Jirjis (1993b) har gjort en studie där de visar att täckpapp ger positivt resultat om det kombineras med löst packade buntar.

1.6 Syfte

Syftet med studien var att fastställa fukthalt och temperatur på buntade träddelar som lagrats i vältor med olika lagringsmönster samt effekten av täckning med täckpapp.

Följande frågeställningar avsågs att besvaras:

- Ger täckning av materialet en lägre fukthalt efter lagring?
- Ger ett luftigare mönster (lägre densitet på vältan) en högre grad av torkning av bränslematerialet och därmed en lägre fukthalt?
- Har vältornas mönster (korslagda eller parallella buntar) någon inverkan på temperaturen inne i vältorna?

Hypoteser grundade på tidigare studier är att:

- Täckning av materialet ger en lägre fukthalt efter lagring.
- En luftigare uppbyggd välta ger lägre fukthalt efter lagring.
- Lagring med buntar i korslagt mönster ger lägre temperatur inne i vältan än lagring i ett parallellt mönster.

2. MATERIAL OCH METOD

2.1 Maskin och lokal

Lagringsförsöket baserades på buntade träddelar (Figur 4) från en gallring i Holmsund (N 63°43', E 20°25') utförd mellan femte och fjortonde maj 2014. Maskinen som användes var en Logman 811FC utrustad med buntningsaggregatet Fixteri FX15 (Figur 3). Aggregatet komprimerar buntar till en längd av 2,6 meter (Figur 4) med hjälp av två matarvalsar och en längd-kapande giljotin. Buntarna binds samman av plastnät som lindas runt bränslet. Matning av material till buntaren kan ske kontinuerligt och komprimeringskammaren tar i snitt in 450-500 kilo per gång. Processen är automatiserad och när en bunt är färdigkomprimerad noteras produktionsdatum, storlek och vikt innan den rullas ut på sidan av buntningsenheten. I det här försöket buntades hela träd bestående av gran, tall och björk från ett 30-35 år gammalt bestånd (Bergström et al. 2015).



Figur 3: Fixteri FX15 under arbete

Figure 3: Fixteri FX15 in action

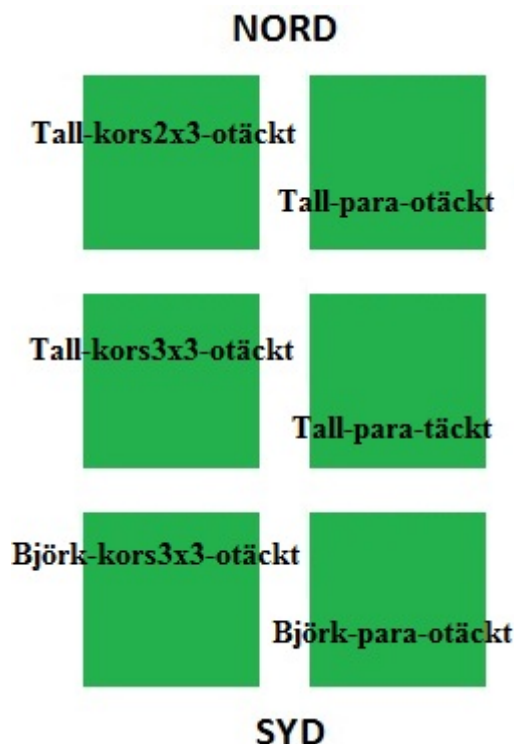


Figur 4: Exempel på en Fixteri bunt

Figure 4: Example of a Fixteri bundle

2.2 Avlägg och läge

Lagringsförsöket inleddes på en biobränsleterminal i Ersboda norr om Umeå. Den 24-25 juni byggdes sex vältor (Figur 5) med varierande korslagda och parallella mönster, täckning och träslag. Mellan avverkningen och konstruktionen har buntarna lagrats i ett parallellt mönster i vältor vid skogsbilväg (6e maj till 24e juni). Vid avverkningstillfället hade buntarna en genomsnittlig fukthalt på cirka 53,6 procent och med standardavvikelse 3,1 procent.



Figur 5: Vältornas placering på avlägget

Figure 5: The windrows placement at the storage site

Nedan förklaras förkortningarna från kartan över vältornas placering (Figur 5):

- ”Tall-kors2x3-otäckt” = Korslagda buntar av tall, i lager om två respektive tre buntar
- ”Tall-para-otäckt” = Parallellt lagda buntar av tall
- ”Tall-kors3x3-otäckt” = Korslagda buntar av tall, tre buntar per lager
- ”Tall-para-täckt” = Parallellt lagda buntar av tall, med täckpapp
- ”Björk-kors3x3-otäckt” = Korslagda buntar av björk, tre buntar per lager
- ”Björk-para-otäckt” = Parallellt lagda buntar av björk

I de parallella vältorna ligger buntarna med kortändan i öst till västlig riktning.

2.3 Mönster

Vältorna byggdes med buntarna placerade antingen parallellt eller korslagt, där tall korslagt delades in i två olika mönster. Den parallella konstruktionen har en traditionell form det vill säga att buntarna ligger parallellt jämte varandra likt stockar i en klassisk timmervälta. En av de parallella tallhögarna har byggts med parallellt lagda buntar samt täckts med täckpapp (Figur 6). Tre av de sex vältorna har en parallell konstruktion, varav två är med tallbuntar och en är med björkbuntar.



Figur 6: "Tall-para-täckt" vältor med parallella tallbuntar täckta med täckpapp

Figure 6: "Tall-para-täckt" windrow with covered parallel pine bundles

De korslagda högarna utgjorde resterande tre vältor och var fördelade på två tall och en björk (Figur 7). I en av tallhögarna korslades lager om tre buntar (Figur 12), medan det i den andra korslagda vältan varvades vartannat lager av två istället för tre buntar (Figur 11). De korslagda vältorna bestod av kluster det vill säga fyra delhögar i varje vältor. Exempelvis utgjordes "tall-kors3x3-otäckt" av fyra travar med 21st buntar i varje (7 lager med 3 buntar i varje lager).



Figur 7: "Tall-kors3x3-otäckt" vältor med korslagda tallbuntar i lager om tre buntar

Figure 7: "Tall-kors3x3-otäckt" windrow with crossed pine bundles in layers of three

2.4 Fukthalt och temperatur

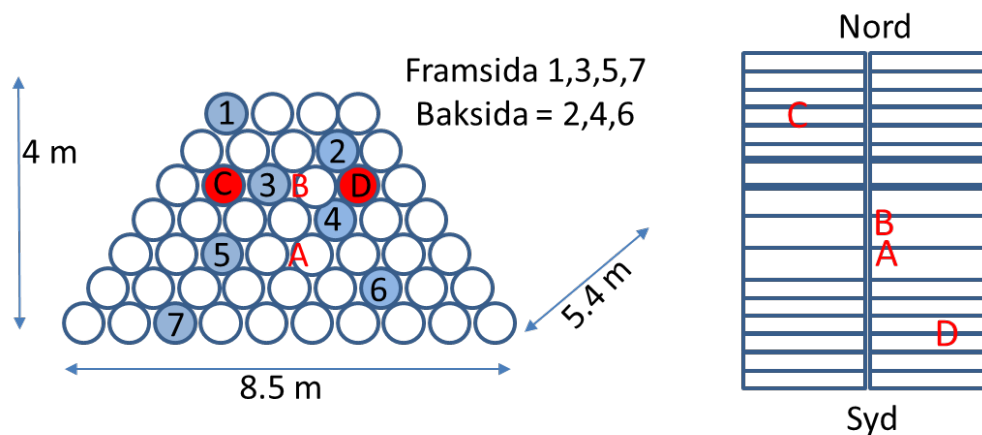
Ingående fukthalt mättes vid två tillfällen, dels direkt efter avverkning dels vid konstruktionen av vältorna. För att mäta fukthalten på materialet togs tre buntar per välta ut och två eller tre prov per bunt togs ut, totalt åtta per välta. Provtagning gjordes genom att buntarna sågades sönder och att en ”skiva” togs ut (Figur 8) och förvarades i en tätsluten plasticsäck. Därefter, inom 24 timmar från provtagning, bestämdes fukthalten enligt europastandard EN 14774–2:2009. Testbuntar kasserades efter provtagning.



Figur 8: En bunt sågas itu varpå ett tvärsnitt tas ut för att bestämma buntens fukthalt

Figure 8: A bundle is divided and a disc is extracted for analyze of the moisture content.

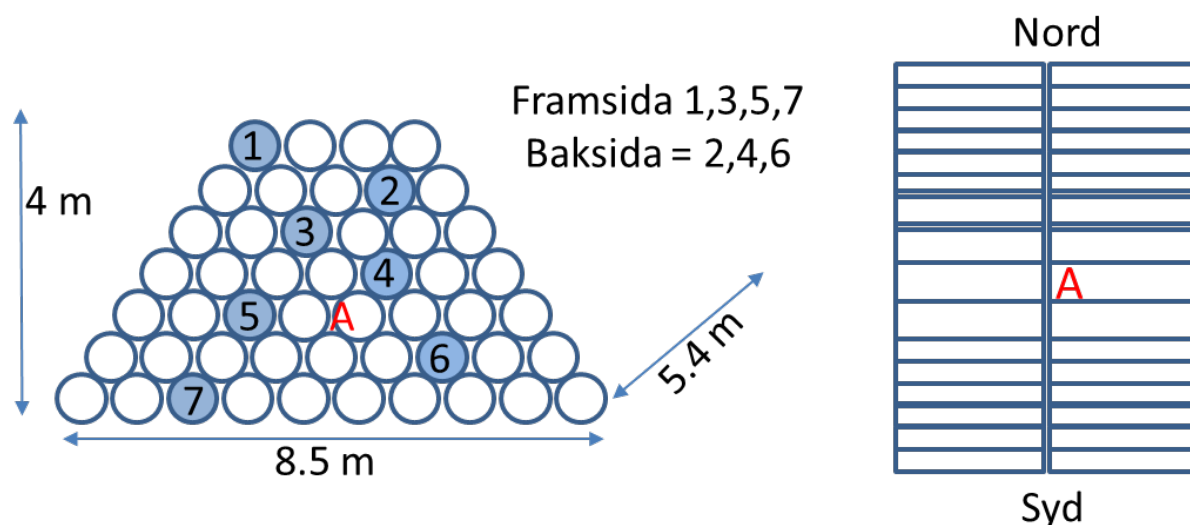
Temperatur mättes var 15e minut med hjälp av loggenheten Testo 176 T4. I de parallella (Figur 9) och de korslagda högarna placerades fyra temperaturgivare (typ T för höga temperaturer) (A, B, C och D) vardera, sett från sidan bildar de ett ”T-mönster”. ”Tall-para-otäckt” och ”björk-para-otäckt” försågs med fyra givare vardera, tre i det femte lagret och en i det tredje (Figur 9).



Figur 9: ”Tall-para-otäckt” och ”björk-para-otäckt”, placering av temperaturgivare (A-D) och valda buntar för fukthaltsanalys (1-7), från sidan (vänster) och ovan (höger)

Figure 9: ”Tall-para-otäckt” and ”björk-para-otäckt”, placement of temperature loggers (A-D) and bundles chosen for moisture content analysis (1-7), from the side (left) and above (right)

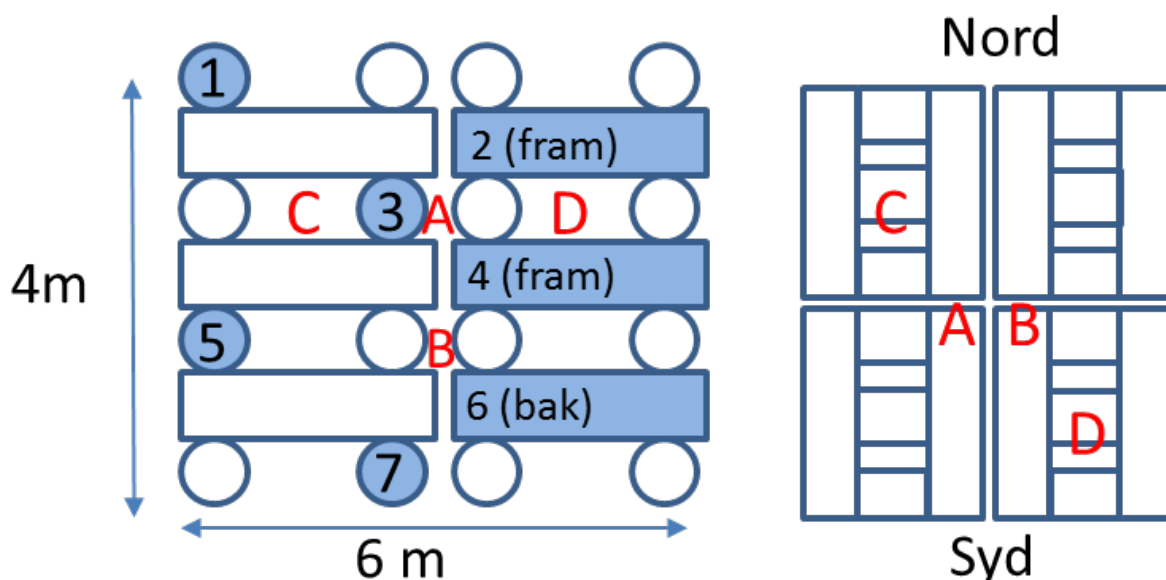
”Tall-para-täckt” högen försågs med endast en givare inne i vältans tredje lager, samt en givare utanpå vältans östra sida för att registrera den yttre temperaturen (se Figur 10). Givaren som mätte yttertemperaturen var inte placerad i skuggan. Travvolymen för en parallell vält var cirka 184 kubikmeter travvolym ($4\text{ m} \times 8,5\text{ m} \times 5,4\text{ m}$).



Figur 10: ”Tall-para-täckt” temperaturgivarplacering (A) och valda buntar för fukthaltsanalys (1-7), från sidan (vänster) och ovan (höger)

Figure 10: ”Tall-para-täckt” placement of temperature loggers (A) and bundles chosen for moisture content analysis (1-7), from the side (left) and above (right)

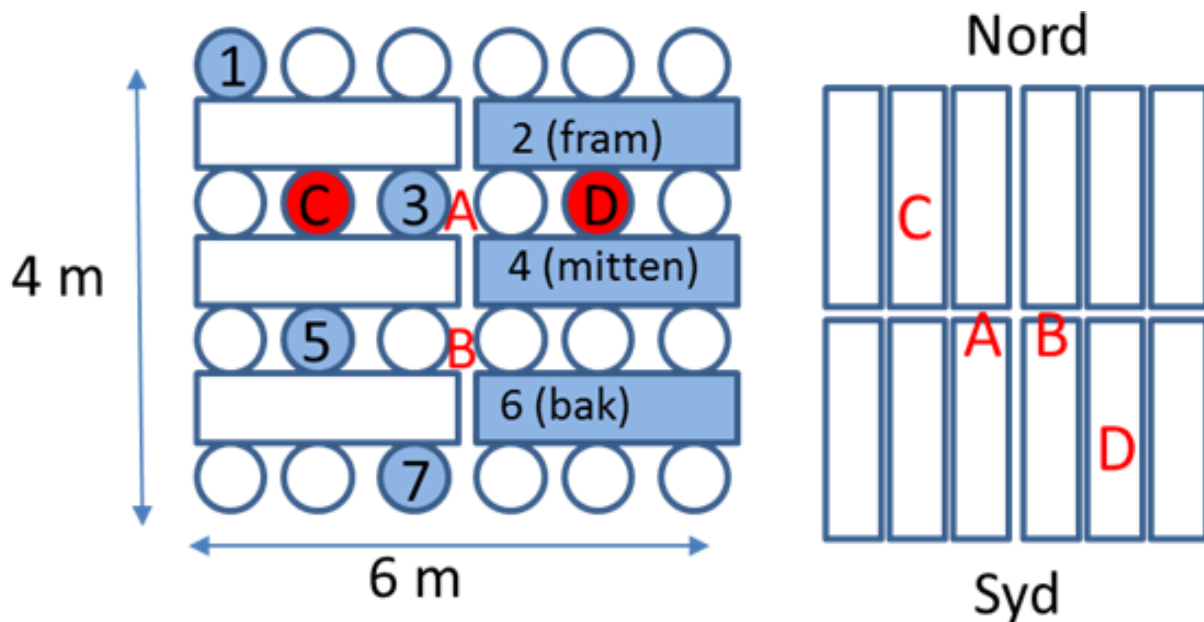
”Tall-kors2x3-otäckt” försågs med fyra temperaturgivare, tre i det femte lagret och en i det tredje lagret (Figur 11).



Figur 11: ”Tall-kors2x3-otäckt” temperaturgivarplacering (A-D) och buntar för fukthaltsanalys (1-7), från sidan (vänster) och ovan (höger)

Figure 11: ”Tall-kors2x3-otäckt” placement of temperature loggers (A-D) and bundles chosen for moisture content analysis (1-7), from the side (left) and above (right)

”Tall-kors3x3-otäckt” och ”Björk-kors3x3-otäckt” försågs med fyra temperaturgivare, tre i det femte lagret och en i det tredje lagret (Figur 12).



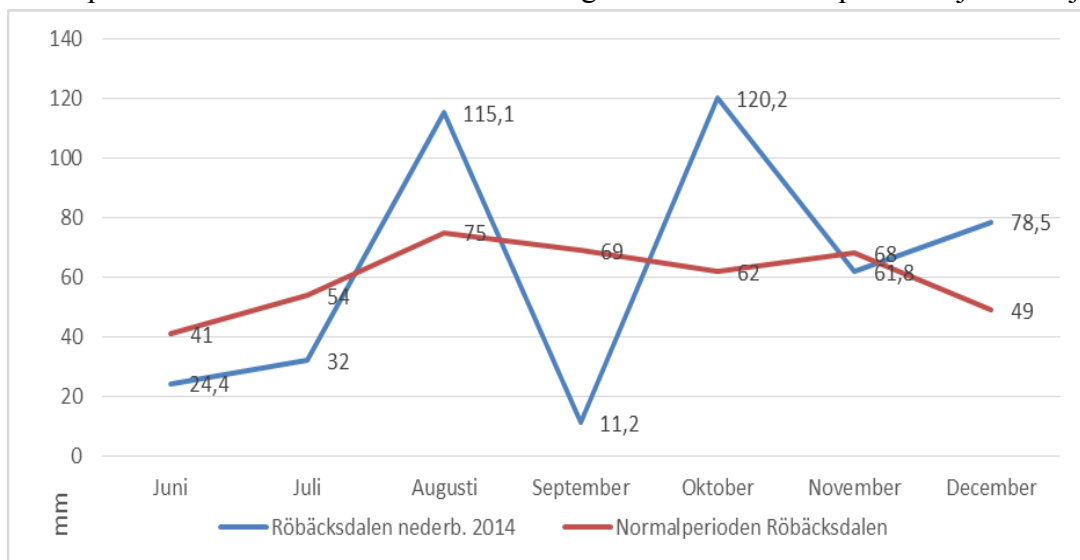
Figur 12: ”Tall-kors3x3-otäckt” och ”Björk-kors3x3-otäckt” temperaturgivarplacering (A-D) och valda buntar för fukthaltsanalys (1-7), från sidan (vänster) och ovan (höger)

Figure 12: ”Tall-kors3x3-otäckt” and ”Björk-kors3x3-otäckt”, placement of temperature loggers (A-D) and bundles chosen for moisture content analysis (1-7), from the side (left) and above (right)

Den tionde december 2014 avslutades lagringen och fukthalt bestämdes återigen utifrån prover på några av buntarna. Totalt togs ett prov ut per lager, totalt sju per vält. Detta illustreras i bilden ovan (Figur 12) där de ljusblå, numrerade buntarna visar var proven togs. Vad gäller de korslagda vältorna är buntarna ett, tre, fem och sju tagna från framsidan/den nordliga delen och två, fyra och sex är från baksidan/den sydliga riktningen. Fram, mitten och bak visar var i det aktuella lagret buntarna är tagen. Travvolymen för en korslagd vält var cirka 144 kubikmeter travvolym (4 m*6 m*4 m).

2.5 Normalperioden och förhållanden under lagringen

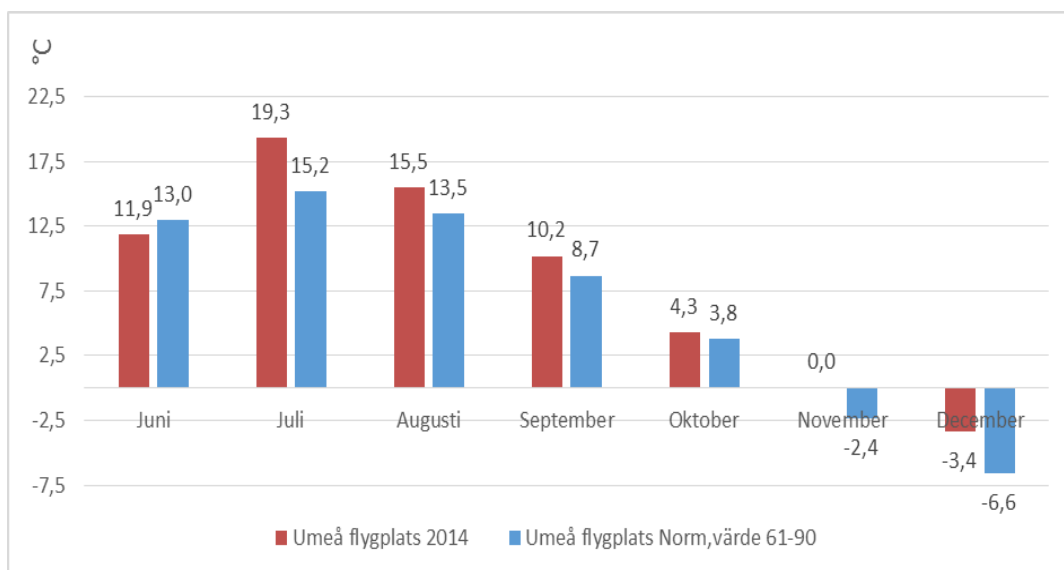
Nederbördsmängden för lagringslokalen har hämtats från närliggande mätstationer på Röbbäcks-dalen sydväst om Umeå. Dessa har jämförts med normalvärdena från 1961 till 1990 (Figur 13). Under perioden augusti till och med november föll 314,5 mm nederbörd jämfört med normalperiodens 267,8 mm. Detta indikerar mer nederbörd än vad som normalt faller under perioden. Dock har det fallit mindre regn än normal under perioden juni och juli.



Figur 13: Nederbördsmängd under lagringsmånaderna för Röbbäcksdalen och dess normalvärden (SMHI, 2014)

Figure 13: Percipitation during storage months in Röbbäcksdalen and its normal values 1961-1990 (SMHI, 2014)

Temperaturer för normalperioden 1961 till 1990 samt månadsvärden för 2014 har hämtats från Umeå flygplats. Genomsnittlig medeltemperatur under lagringsperiodens månader för Umeå flygplats var cirka 9,2 grader Celsius. Normalperiodens genomsnitt för samma månader och plats var cirka 7,7 grader Celsius (Figur 14). Detta visar att perioden varit varmare än normalt.



Figur 14: Temperaturen under lagringsmånaderna för Umeå flygplats och dess normalvärden (SMHI, 2014)

Figure 14: Temperature during storage months for Umeå airport and its normal values 1961-1990 (SMHI, 2014)

2.6 Databearbetning

För att se om de uppmätta fukthalterna innan lagring skiljde sig åt mellan vältorna utfördes ett t-test mellan de två björkmönstren och ett ANOVA mellan de fyra tallmönstren. Detta för att se om ett gemensamt medelvärde kunde beräknas för de ingående fukthalterna per träslag.

För att beräkna fukthaltsminskningaren subtraherades startvärdena med genomsnitten inom samma hög för de olika fukthalterna efter lagring. Fukthaltsminskningar räknades fram trädslagsvis och användes sedan som bas vid övriga fukthaltsberäkningar. Analyserna utfördes i Minitab 17 och illustrerades i diagram med hjälp av Excel.

Jämförelser har gjorts mellan fukthalt före och efter lagring för att undersöka om fukthalten har minskat i de olika vältkonstruktionerna. Detta gjordes med hjälp av ensidiga, oparade t-tester för varje vältmönster där alternativhypotesen var att fukthalt efter är mindre än fukthalt före.

För att se om täckpapp hade effekt på fukthalten eller om de två parallella vältorna eventuellt kunde klustras (slås samman) genomfördes ensidiga, oparade t-tester mellan ”tall-para-otäckt” och ”tall-para-täckt”. Här antar nollhypotesen att täckpapp inte har en effekt på fukthaltsminskningen, alternativhypotesen är att fukthaltsminskningen är större i den täckta vältan ”tall-para-täckt”.

Samma test, fast tvåsidigt, genomfördes för att se om även ”tall-kors2x3-otäckt” och ”tall-kors3x3-otäckt” kunde klustras. Klustringen av de parallella och korslagda vältorna genomfördes för att få fler mätvärden och därmed eventuellt kunna visa på signifikans eller tendenser på skillnad mellan de större grupperna. Nollhypotesen anger att det inte finns någon skillnad i torkning mellan de olika grupperna. Alternativhypotesen anger att fukthaltsminskningen är större i de luftiga, korslagda vältorna än i de parallella. Hypoteserna gäller även för testerna mellan björkvältorna. För att se om det fanns skillnad i minskningen av fukthalten mellan de olika trädslagen utfördes även en klustring med viktade värden. Viktningen utfördes genom att medelvärdet av alla fukthaltsminskningar för tall dividerades med det gemensamma startvärdet före lagring för tall. Beräkningarna för björk genomfördes på samma sätt.

Temperaturen har analyserats genom parade en- och tvåsidiga t-tester, där paren bestod av mätningar vid samma klockslag. För att undersöka om det fanns något mönster gällande temperaturen under de olika månaderna har medelvärden beräknats för dessa, vilka sedan jämförts med yttertemperaturen i en visuell analys. Beräkningar av p-värdet har genomförts för att se om temperaturen skiljer sig mellan de olika vältmönstren. För att denna analys skulle vara möjlig genomfördes först ett t-test för att se om högarnas temperatur skilde sig från omgivningen. En signifikansnivå på fem procent ansattes. Visuella analyser av kortare

temperaturperioder har gjorts för att se hur temperaturen i vältan varierar på kort sikt. Tre perioder valdes; en med höga temperaturer, en med låga temperaturer samt en med temperaturer där emellan. Ett urvalskriterium var att samtliga mätperioder skulle kännetecknas av relativt stora förändringar i yttemperatur.

3. RESULTAT

3.1 Torkning

Det fanns ingen signifikant skillnad mellan buntarna före lagring. Därmed kunde ett gemensamt startvärde för fukthalterna beräknas för tall- respektive björkvältorna, medelvärde av fukthalterna före lagring var för björk 44 procent och 48 procent för tall. För björk skedde den största minskningen i vältan ”björk-para-otäckt” och för tall ”tall-para-täckt”, samtidigt som ”tall-kors2x3-otäckt” hade störst standardavvikelse, 7,8 procent (Tabell 2).

Tabell 2: Medelvärde av fukthalts minskning i procentenheter för de olika vältorna, samt standardavvikelse

Table 2: Average decrease in moisture content percentage for the different windrows, and standard deviation

	Björk-kors3x3-otäckt	Björk-para-otäckt	Tall-para-otäckt	Tall-para-täckt	Tall-kors2x3-otäckt	Tall-kors3x3-otäckt
Medelvärde	4,1	6,2	8,2	9,1	5,5	8,6
Standardavvikelse	5,1	4,2	3,1	3,9	7,8	5,0

Alla vältor har torkat signifikant utom ”tall-kors2x3-otäckt” utom ”tall-kors2x3-otäckt”, som dock var nära signifikant ($p = 0,059$). (Tabell 3).

Tabell 3: Ensidiga t-tester mellan fukthalten före och efter lagring per vält

Table 3: One-sided t-tests between moisture content before and after storage per windrow

	Björk-kors3x3-otäckt	Björk-para-otäckt	Tall-para-otäckt	Tall-para-täckt	Tall-kors2x3-otäckt	Tall-kors3x3-otäckt
T-värde	1,89	3,37	6,17	5,7	1,82	4,25
P-värde	0,046	0,004	<0,001	<0,001	0,059	<0,001
Fukthalt efter lagring (%)	40,0	37,9	39,9	38,9	42,5	39,5

2.7 Täckpapp och fukthalt

Jämförelse mellan vältan ”tall-para-täckt” med täckpapp och ”tall-para-otäckt” utan täckpapp visade ingen signifikant skillnad i torkning (Tabell 4).

Tabell 4: t-test av fukthaltsminskningen i procentenheter mellan täckt och otäckt parallell vält av tall

Table 4: t-test of moisture content decrease in percentages between covered and noncovered parallel windrow of pine

Mönster	Medelvärde	SD*	T-värde	p-värde
Tall-para-otäckt	8,2	3,1	0,52	0,306
Tall-para-täckt	9,2	3,9		

*SD = standardavvikelse *SD = Standard deviation

3.2 Fukthalt och vältmönster

Resultatet från ett oparat ensidigt t-test visar ingen signifikant skillnad mellan vältorna av björk (Tabell 5).

Tabell 5: t-test av fukthaltsminskningen i procentenheter för björk efter lagring

Table 5: t-test of moisture content decrease in percentages for birch after storage

Mönster	Medelvärde	SD*	T-värde	P-värde
Björk-kors3x3-otäckt	4,1	5,1	0,86	0,796
Björk-para-otäckt	6,2	4,2		

*SD = standardavvikelse *SD = Standard deviation

Resultatet från en envägs ANOVA för minskningen i fukthalt hos de olika vältorna av tall (Tabell 6), visar ingen signifikant skillnad mellan vältorna.

Tabell 6: ANOVA gällande fukthaltsminskningen i procentenheter på tall

Table 6: ANOVA of the decrease in percentage of moisture content between the different pine windrows

	Tall-para-otäckt	Tall-para-täckt	Tall-kors2x3-otäckt	Tall-kors3x3-otäckt	F-värde	0,066
Medelvärde	8,2	9,2	5,5	8,6	P-värde	0,586
SD*	3,1	3,9	7,8	5	R-sq(adj)	<0,001 %

*SD = standardavvikelse *SD = Standard deviation

Då det inte var någon signifikant skillnad mellan vältorna klustrades värdena från kategorierna parallella tallvältor och korslagda tallvältor. Fukthalten i ”tall-para-otäckt och tall-para-täckt” har minskat mer än ”tall-kors2x3-otäckt och tall-kors3x3-otäckt”, medan standardavvikelsen är större i de korslagda (Tabell 7).

Tabell 7: Klustrade medelvärden för fukthaltsminskningen i procentenheter hos tall

Table 7: Clustered means for moisture content decrease in percentage for pine

Mönster	Medelvärde	SD*
Tall-para-otäckt och tall-para-täckt	8,7 %	3,4 %
Tall-kors2x3-otäckt och tall-kors3x3-otäckt	7,0 %	6,5 %

*SD = standardavvikelse *SD = Standard deviation

Klusteranalysen av de två parallella och de två korslagda tallvältorna visade inte på någon signifikant skillnad i torkning (Tabell 8).

Tabell 8: t-test för fukthaltsminskningen i procentenheter mellan klustrade värden för parallella och korslagda vältor av tall

Table 8: t-test of clustered decreases in moisture contents in percentages for pine, parallel- and crossed patterns

Mönster	T-värde	P-värde
Tall-para-otäckt < Tall-kors2x3-otäckt & tall-para-täckt tall-kors3x3-otäckt	0,83	0,793

Vid viktningen av medelvärdena för klustringen, uppdelade på träslag har tallbuntarna torkat mer än björkbuntarna dock var standardavvikelserna stora (Tabell 9).

Tabell 9: Medelvärde och standardavvikelse av fukthaltsskvoterna för klustrade värden av björk och tall

Table 9: Mean and standard deviation of moisture content from clustered birch and pine values

Mönster	Medelvärde	SD*
Björk-kors3x3-otäckt & björk-para-otäckt	12 %	10 %
Tall-para-otäckt, tall-para-täckt, tall-kors2x3-otäckt & tall-kors2x3-otäckt	16 %	11 %

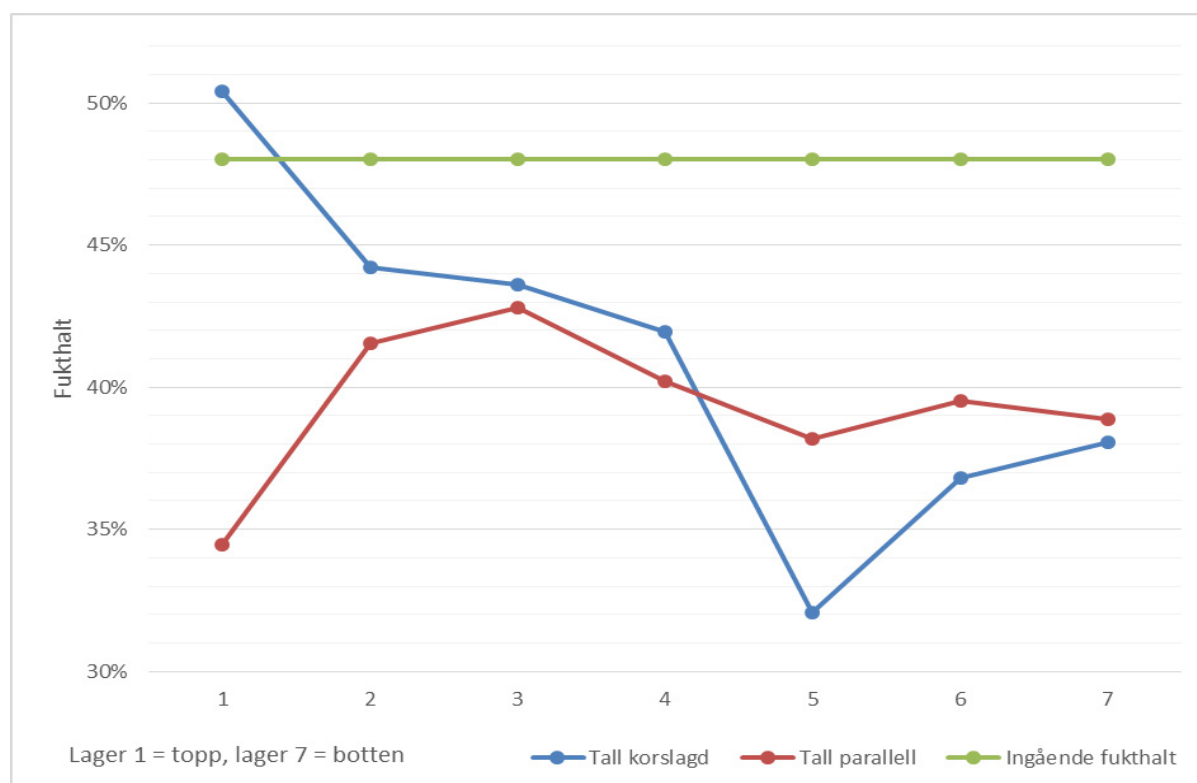
Det tvåsidigt oparade t-testet (Tabell 10) visar ingen signifikant skillnad mellan trädslagen.

Tabell 10: t-test av fukthaltsskvoterna för klustrade värden av björk och tall

Table 10: t-test of moisture content from clustered birch and pine values

Mönster		T-värde	P-värde
Björk-kors3x3-otäckt & björk-para-otäckt	vs	Tall-para-otäckt, tall-para-täckt, tall-kors2x3-otäckt & tall-kors2x3-otäckt	
		1,36	0,185

Fukthalter per lager efter lagring i klustrade mönster av parallella kontra korslagda vältor. Lager ett till sju bildar ett tvärsnitt av hur fukthalten varierar vid en förflyttning från toppen (lager 1) till botten (lager 7) av en vält. Alla värden utom ett ligger under den genomsnittliga fukthalten före lagring (Figur 15).



Figur 15: Medelvärde av fukthalten (%) inom varje lager för klustrade korslagda (tall-kors2x3-otäckt och tall-kors3x3-otäckt) och parallella (tall-para-otäckt och tall-para-täckt) vältor efter lagringen. Den gröna linjen är genomsnittligt ingående fukthalt för tall

Figure 15: Average moisture content (%) in each layer for clustered crossed (tall-kors2x3-otäckt and tall-kors3x3-otäckt) and parallel (tall-para-otäckt and tall-para-täckt) windrows after storage. The green line is the average moisture content before storage

3.3 Temperatur och vältmönster

Vid jämförelse mellan vältornas medeltemperatur och yttertemperaturen för hela lagringsperioden fanns det signifikanta skillnader mellan ytter- och innertemperaturerna (Tabell 11).

Tabell 11: Parade tvåsidiga t-test av temperaturen i vältan kontra utanför vältan

Table 11: Paired two-way, t-tests of temperatures inside and outside the windrows

Mönster		Utanför vältan	Medeldifferens (°C)	SE* (°C)	p-värde
Björk-kors3x3-otäckt	minus	Yttemp	– 0,79	0,03	< 0,001
Björk-para-otäckt	minus	Yttemp	– 0,66	0,03	< 0,001
Tall-para-täckt	minus	Yttemp	– 0,18	0,03	< 0,001
Tall-kors2x3-otäckt	minus	Yttemp	– 0,71	0,03	< 0,001
Tall-kors3x3-otäckt**	minus	Yttemp	– 0,54	0,03	< 0,001
Tall-para-otäckt	minus	Yttemp	– 0,61	0,03	< 0,001

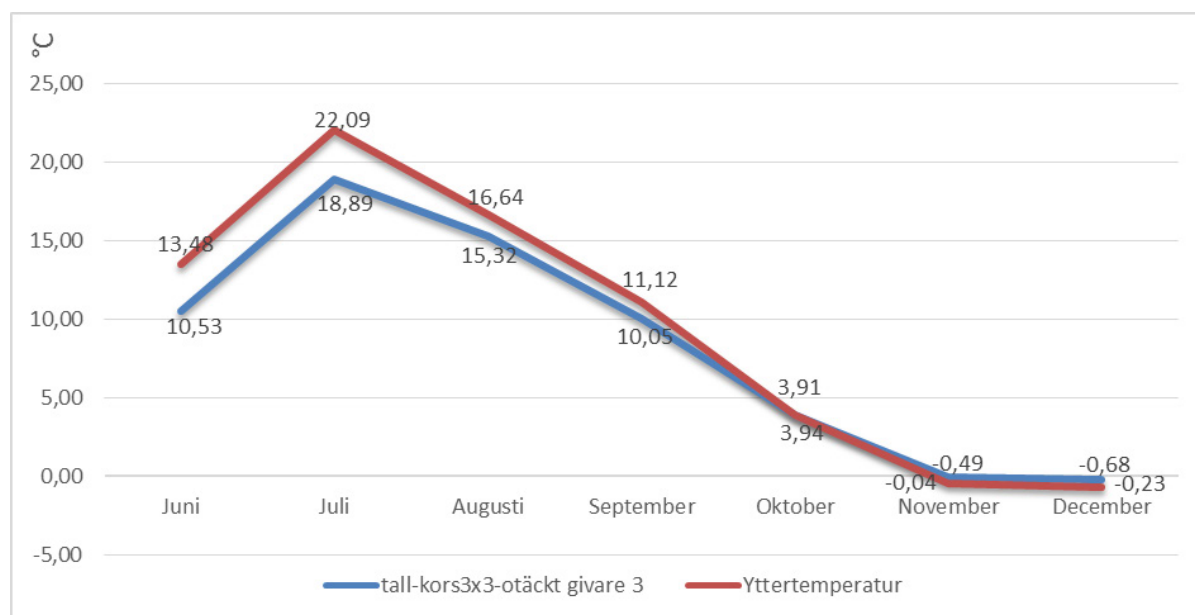
*SE = Medelfel

*SE = Standard Error

**Tempgivare C exkluderad

**Temperature logger C excluded

Variationen i temperatur (givare A) över sex månader för ”tall-kors3x3-otäckt” kontra yttertemperaturen visar ett skifte mellan ytter och inner temperatur under oktober (Figur 16). Genomsnittet för yttertemperaturen under lagringsperioden var cirka 10,2 grader Celsius.



Figur 16: Medeltemperatur per månad för givare A i ”tall-kors3x3-otäckt”-vältan samt yttertemperaturen

Figure 16: Mean temperature per month for logger A in the “tall-kors3x3-otäckt” windrow and the outside temperature

Alla tester visade signifikanta skillnader i temperatur mellan de olika vältorna förutom ”tall-kors3x3-otäckt” jämfört med ”tall-para-otäckt” (Tabell 12).

Tabell 12: Ensidiga, parade t-test som jämför de olika lagringsmönstren temperaturer med varandra

Table 12: One-way, paired t-tests comparing the different windrow pattern temperature between each other.

Mönster	Större/mindre än, ingen skillnad		Medeldifferens (°C)	SE* (°C)	p-värde
Tall-para-täckt**	>	Tall-para-otäckt**	0,76	0,01	<0,001
Tall-kors3x3-otäckt***	=	Tall-para-otäckt***	0,005	0,007	0,227
Tall-para-otäckt	>	Tall-kors2x3-otäckt	0,1	0,003	<0,001
Tall-kors2x3-otäckt***	<	Tall-kors3x3-otäckt***	0,6	0,006	<0,001
Björk-para-otäckt	>	Björk-kors3x3-otäckt	0,13	0,004	<0,001

*SE = Medelfel

**Endast tempgivare A

***Tempgivare C exkluderad

*SE = Standard Error

**Only Temperature logger A

***Temperature logger C excluded

3.4 Temperaturförändring under kortare perioder

Yttertemperaturen från en av de varmaste lagringsperioderna nådde upp till ungefär 38 grader Celsius (Figur 17). Den högsta yttertemperaturen som uppmättes var 41,3 grader Celsius den 26e juli. Nedan visas en elvadagarsperiod med utvecklingen i vältorna vid en temperaturökning om ungefär åtta grader Celsius vad gäller yttertemperaturen. Välta ”tall-kors3x3-otäckt” verkar hålla en jämnare temperatur än de övriga högarna, exempelvis mellan 393-491 (Figur 17).

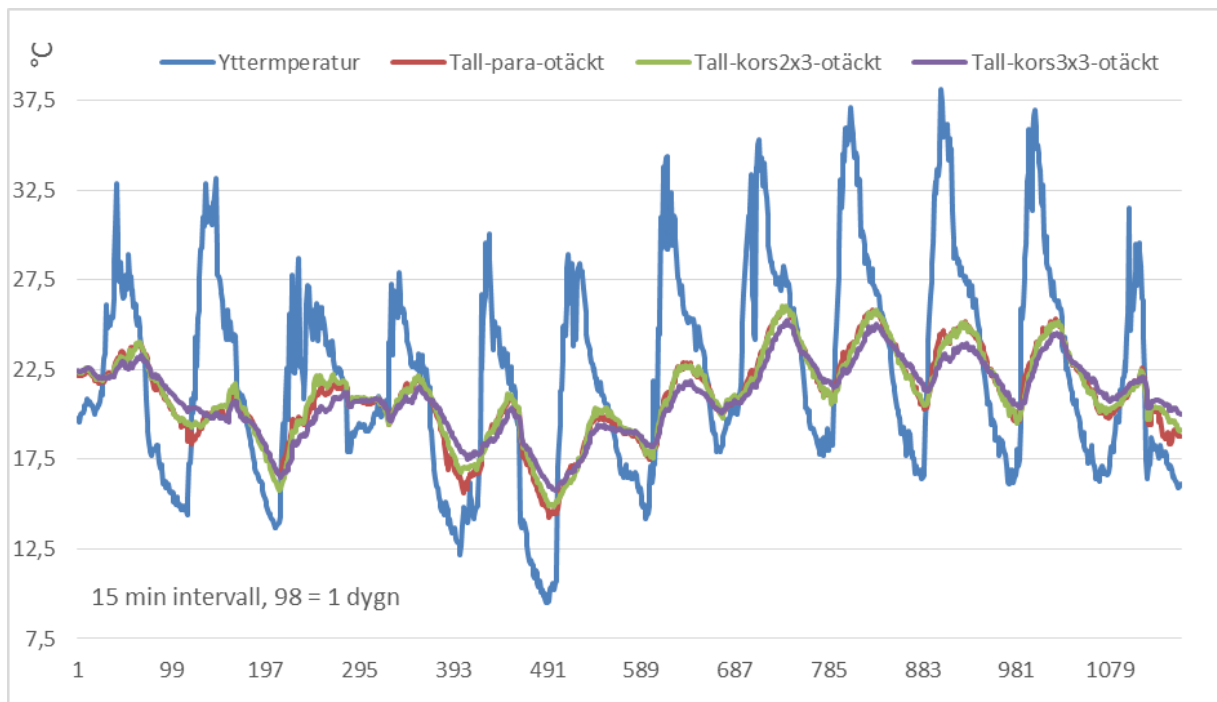


Figure 17: Genomsnittliga temperaturvariationer i vältorna* under en 11-dagarsperiod 28 juli. - 8 augusti

Figure 17: Mean temperature variations in the windrows* during an 11 day period, 28 July to 8 August

*Tempgivare C exkluderad i samtliga vältor

*Temperature logger C excluded in all windrows

Temperaturer från den näst varmaste lagringsperioden har en temperatur upp till ungefär 25 grader Celsius (Figur 18). Denna tolvdagarsperiod visar utvecklingen i vältorna vid en temperaturminskning om ungefär tio grader Celsius sett till yttertemperaturen. Likt tidigare period har ”tall-kors3x3-otäckt” en jämn kurva, emedan ”tall-para-otäckt” nu verkar fallit till lägre temperaturer än övriga vältor, exempelvis perioden 785-1177 (Figur 18).

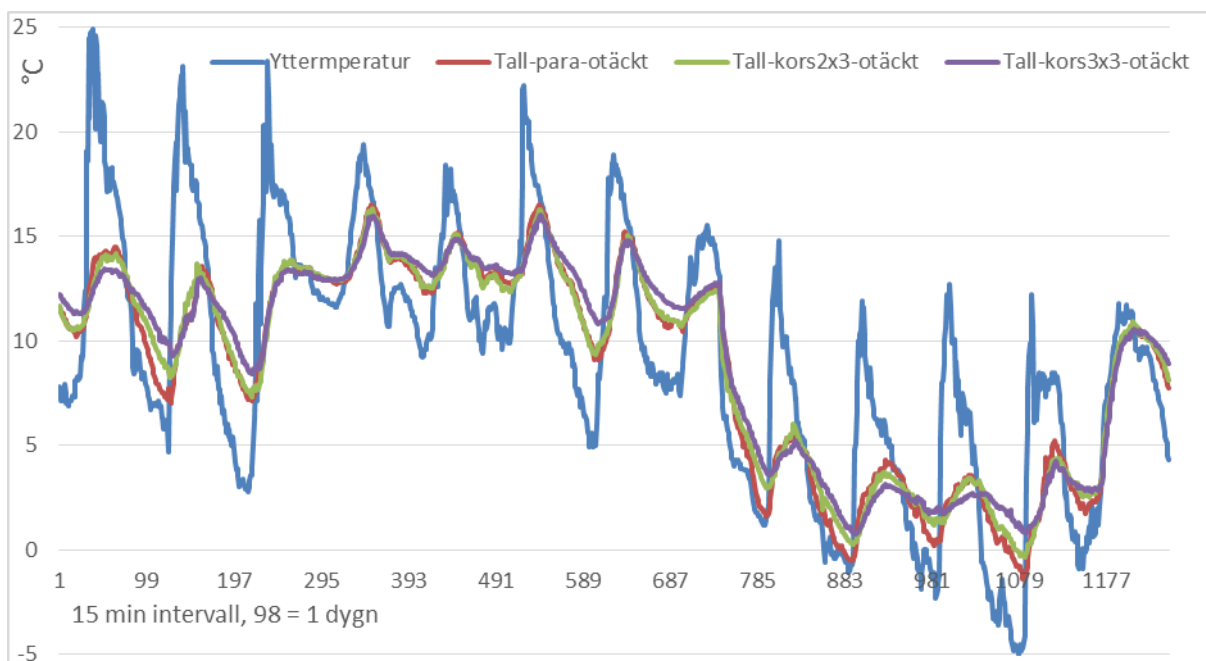
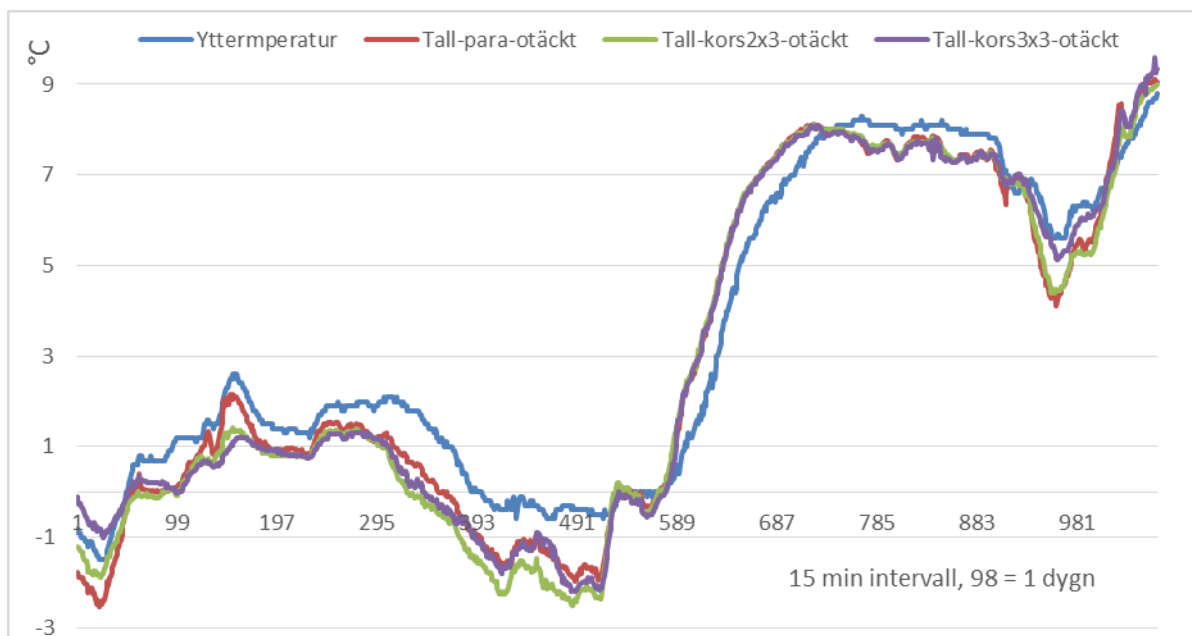


Figure 18: Genomsnittliga temperaturvariationer i vältorna* under 12 dagar, 14 september - 26 september

Figure 18: Mean temperature variations in the windrows* during 12 days, 14 September to 26 September

*Tempgivare C exkluderad i samtliga vältor *Temperature logger C excluded in all windrows

Temperaturer från den kallaste lagringsperioden har en temperatur upp till ungefär nio grader Celsius (Figur 19). Denna tiodagarsperiod visar utvecklingen i vältorna vid en temperaturökning om ungefär åtta grader Celsius sett till yttertemperaturen. Perioden i oktober kännetecknas av en jämn yttertemperatur utan större variation mellan natt och dag (Figur 19).



Figur 19: Genomsnittliga temperaturvariationer i vältorna* under 11 dagar, 18 oktober - 28 oktober

Figure 19: Mean temperature variations in the windrows* during 11 days, 18 October to 28 October

*Tempgivare C exkluderad i samtliga vältor *Temperature logger C excluded in all windrows

4. DISKUSSION

4.1 Täckpappens inverkan på torkningen

Det finns många faktorer som påverkar lagringen av buntat skogsbränsle. En möjlig felkälla kan vara att studien påbörjades en månad efter det att buntarna tillverkades i skogen. Det kan därför tänkas att mycket av torkningen redan hade skett innan studien började. En stor del av fukthaltsminskningen brukar ske under maj månad (Hillebrand, 2000). Hillebrands (2000) studie utgår visserligen från grot men får ändå anses tillämpbar på buntade unga klena träd. Under den första lagringsmånaden saknas information om buntarnas placering. Var de i solen, i skuggan eller exempelvis i ytterkanten av en vält? Alla dessa faktorer påverkar den ingående fukthalten (Persson, 2009) för de buntar som användes i studien. Ett tecken på att fukthalterna påverkats var att vid provtagning direkt efter avverkning var fukthalten högre än vid lagrings-studiens början för både björk och tall.

I studien saknas information om den förhärskande vindriktningen och underlagets egenskaper vad gäller avrinning, vilka båda kan påverka torkningen (Lehtikangas & Jirjis, 1993a). Fukt brukar vandra upp från marken och återfukta de nedre lagren i en vält, vilket ofta ger en ojämn fukthalt i vältan (Lehtikangas & Jirjis, 1993a). Denna påverkan är troligen störst i de parallella högarna då deras pyramidform gör att de har störst basarea med markkontakt, vilket ger en större berörd volym än de blockformade korslagda vältorna. Vidare kan det antas att även den yttre arean påverkar torkning och återfuktning från nederbörd, där parallella vältor återigen har en större exponerad area än de korslagda (Flinkman et al. 1986).

Alla vältor hade en lägre fukthalt efter lagring än innan (Tabell 2) samtidigt som alla vältor utom en (tall-kors2x3-otäckt) visade signifikanta skillnader mellan fukthalterna före och efter med fem procentig signifikansnivå (Tabell 3). ”Tall-kors2x3-otäckt” uppvisar dock en minskning fast på en lägre signifikansnivå (p-värdet blev 0,059). Differensen kan bero på att försöket avslutades i december då återfuktningen vanligtvis är som störst (Hillebrand, 2000). ”Tall-kors2x3-otäckt” vältans luftigare konstruktion kan då ha bidragit till en högre infiltration av snö eller regn och därmed också en högre grad av återfuktning än i de andra vältorna (Pettersson & Nordfjell, 2007).

För att testa om täckning av vältan hade en positiv inverkan på torkningen genomfördes ett ensidigt t-test mellan den parallella tallvältan med täckpapp och den utan papp. Den genomsnittliga fukthaltsminskningen för ”tall-para-täckt” var något större än för ”tall-para-otäckt”. Denna skillnad i torkning var dock inte signifikant (Tabell 4). Resultatet skiljer sig därmed från tidigare studier av exempelvis Lehtikangas och Jirjis (1993a) som erhöll en skillnad på tio procentenheter med täckpapp, det bör dock poängteras att deras studie var utförd på grotvältor och under en annan tidsperiod. Det kan även tänkas att nederbörd eller markkontakt eventuellt har återfuktat bränslet, vilket nämnts i tidigare studier (Lehtikangas & Jirjis, 1993a; Flinkman et al. 1986).

Därmed blir svaret på frågan om täckning ger en högre grad av torkning för buntar, nej. Då tidigare studier är utförda på grot och under andra förhållanden, kan det vara på sin plats med vidare studier av obuntat och buntat material på samma lokal. Detta för att kunna eliminera eventuella felkällor och göra resultatet mer jämförbart med studier på obuntat material.

4.2 Vältmönstrets inverkan på torkningen

Likt Perssons (2009) liknelse av ”torkning av kläder och ved”, har antagandet gjorts att ett korsmönster ger luftiga vältor som torkar bättre. För att testa om den ökade luftgenomströmningen som korsmönstret skulle medföra (Andersson & Nordén, 2000) gav ökad torkning, genomfördes bland annat ensidiga t-tester och ANOVA.

Varje trädslag testades separat. För björk visade ett ensidigt t-test att det ej fanns signifikans för att korslagda björkbuntar skulle torka bättre än parallella (Tabell 5). För tallvältorna utfördes en ANOVA (Tabell 6), vilken visade att det inte fanns signifikant skillnad mellan någon av de parallella eller korslagda vältorna. Då testerna inte visade på några stora skillnader i fukthalt genomfördes en klustring av vältorna samt att nya medelvärden och standardavvikelser beräknades (Tabell 7). Det höga p-värdet från det ensidiga t-testet (Tabell 8) visade att de korslagda högarna inte hade torkat bättre än de parallella trots klustringen. Efter klustringen av björk respektive tall oavsett vältmönster eller täckpapp genomfördes ett tvåsidigt t-test. Detta gav ett lägre p-värde än tidigare, dock utan signifikant skillnad mellan fukthaltsskvoterna (Tabell 10). Svaret på frågan om korslagda luftiga vältor torkar bättre än parallella, är i denna studie nej.

Resultatet skiljer sig därmed från Pöry (2014) studie, där de konkluderade att de korslagda vältorna torkade extra bra. I deras studie avslutas försöket den tredje oktober, vilket till skillnad från denna studie inte innefattar oktober och november. Under dessa två extra månader kan det ha skett en betydande återfuktning av materialet, vilket överensstämmer med Espings (1992) och Flinkman et al. (1986) forskning om återfuktning. Vidare skiljer sig studierna åt vad gäller storleken på vältan där Pöry har sex lager av buntar i höjdled, till skillnad mot nio i detta försök. Skillnaden mellan studierna skulle kunna bero på en differens i luftgenomströmning orsakat av en ökad täthet (Lehtikangas, 1999) i vältan när antalet lager ökar. Minskningen i genomströmning kan därmed ha påverkat torkningen negativt i denna studie. Det bör påpekas att vältornas densitet eller buntarnas genomsläpplighet ej har analyserats eller redovisats i någon av studierna. Fukthalten kan även ha påverkats av att buntarna bestod av olika delar stamved, grenar och barr samt ett mindre inslag av andra trädslag. Exempelvis skulle en bunt med högre andel stamved troligtvis ha högre fukthalt. Detta då grenar generellt sett har en lägre fukthalt (Lehtikangas, 1999). Placeringen av vältorna skiljer sig också då Pöry (2014) varierar lagringslokal och orientering (öst-väst), medan denna studie använder samma förutsättning för alla vältor.

Vad gäller vältornas mönster antogs de korslagda 2x3 och 3x3 buntarna av tall vara luftigare/genomsläppligare. När fukthalten per lager för klustrade korslagd tall plottas mot

mot-svarande lager för den parallella klustringen syns en skillnad i det översta lagret (Figur 15). Vid en visuell analys ligger korslagda vältor inledningsvis högt över fukthalten för de parallella fram till mitten av vältan (lager 4). En tänkbar förklaring kan vara att de korslagda vältornas ”luftighet” ger en större infiltration (Pettersson & Nordfjell, 2007). Under perioden augusti till och med november hade totalt 314,5 millimetern nederbörd fallit jämfört med normalperiodens 267,8 millimeter (Figur 13). Den ökade nederbörden skulle kunna förklara de övre lagrens högre fukthalt jämfört med de ”tätare” parallella vältorna.

Antagandet att en luftigare struktur skulle ge en lägre fukthalt gjordes baserat på vältornas konstruktion. Därmed förväntades fukthalten stiga ju längre ner i vältan mätningarna gjordes. Enligt Lehtikangas (1993a) tenderar de mindre fraktionerna av barr och grenar att ansamlas i mitten av vältan, vilket leder till en högre fukthalt då dessa delar lätt absorberar väta. Visuellt går det inte att avgöra om ett sådant ”skikt” existerar, dock tycks det finnas en skillnad i fukthalt mellan topp och botten. Att bottenskiktet är torrare än mitten av högarna går emot Flinkman et al. (1986) teori om återfuktning underifrån. Detta skulle kunna ses som ett tecken på ett existerande lager av finfraktioner som håller kvar en högre fukthalt. Det kan dock tänkas att den avvikande fukthalten endast är en konsekvens av infiltrationen, det vill säga återfuktning uppifrån.

4.3 Välmönstrets inverkan på temperaturen

En del i syftet var att undersöka om det fanns skillnader i högarnas temperaturer till följd av de olika lagringssätten. Sett över hela lagringsperioden uppmättes en signifikant skillnad i temperatur mellan vältorna och yttertemperaturen (Tabell 11). T-tester kan dock vara mindre lämpliga för tidsserier då data är beroende av tidigare mätvärden. Istället skulle en tidsserie-studie passat analysen bättre. Emellertid är skillnaden i medeltemperatur inte speciellt hög, i genomsnitt mindre än en grad Celsius. En felkälla som gör det svårt att avgöra om skillnaden i temperatur faktiskt är liten, är att den yttre temperaturgivaren verkar vara missvisande. Exempelvis har temperaturgivaren under varmare perioder registrerat maxtemperaturer på uppåt 35-40 grader Celsius (Figur 17 & 19). Dessa höga temperaturer kan ifrågasättas då det senaste värmerекordet för Sverige är 38°C i Målilla, Småland juni 1947 (SMHI, 2016). Värdena avviker också från både normalperioden 1961-1990 och SMHIs (2014) uppmätta värden för klimatstationen vid Umeå flygplats (Figur 14). Därmed kan det ifrågasättas om temperatur-givaren verkligen har varit rätt placerad. Enligt SMHI (2015) behöver inte en termometer vara placerad i skuggan men skall vara skyddad mot direkt solljus och nederbörd. Detta då solstrålning och nederbörd kan påverka instrumentets noggrannhet. Temperatur-givaren var placerad på ”tall-para-täckt” vältans östra sida. Vältan kan dock ha bidragit med ett visst skydd.

Temperaturen var generellt högre utanför vältan än inne i vältan under månaderna juni till september. Därefter skiftade förhållandet mellan ytter- och innertemperatur. Temperaturen blev från oktober varmare i vältorna och kallare utanför (Figur 16). Detta kan vara en effekt av att vältans och/eller buntarnas densitet hindrat luftgenomströmning och därmed givit de

högre temperaturerna. Detta gäller enligt Lehtikangas (1999) oftast större vältor ($>100 \text{ m}^3$) bestående av obuntade trädrester. Skillnaden mellan vältor och omgivning under de senare månaderna är i genomsnitt relativt liten cirka 0,5 grader (Figur 20). Den mikrobiella nedbrytningen kan utgöra en del av skillnaden. Det är dock tveksamt hur stort deras bidrag är då förhållandena för mikrober är ogynnsamma. De föredrar högre temperaturer och finfördelad flis framför hela unga träd (Lehtikangas, 1999).

Den genomsnittliga yttertemperaturen för hela lagringsperioden vid biobränsleterminalen var cirka tio grader Celsius (Figur 16). Detta värde kan som ovan nämnts ifrågasättas på grund av temperaturgivarens felaktiga placering. Dock visar SMHIs (2014) värden från Umeå flygplats en genomsnittlig temperatur för lagringsperiodens månader på cirka nio grader Celsius (Figur 14). Detta värde ligger relativt högt över motsvarande genomsnittliga värde på 7,7 grader Celsius, vilket hämtats från normalperiod för 1961-1990 (Figur 14). Det bör därmed gå att dra slutsatsen att det har varit varmare än normalt under lagringsperioden.

Som tidigare konstaterats hade högarna en signifikant temperaturskillnad jämfört med yttertemperaturen (Tabell 11). Därmed kunde vältmönstren rangordnas utifrån de uppmätta temperaturerna. Svaret på frågan om vältornas mönster har någon inverkan på temperaturen inne i vältorna, verkar vara ja (Tabell 12). Det tidigare antagandet att de korslagda vältorna skulle vara luftigare och därmed ha en lägre medeltemperatur verkar delvis vara fel. Detta då det inte finns någon signifikant temperaturskillnad mellan ”tall-kors3x3-otäckt” och ”tall-para-otäckt” (Tabell 12). Det kan tänkas att den parallella vältan med tre buntar i varje lager var lika tät som den parallella. Något som kan styrka detta antagande var att högen ”tall-kors2x3-otäckt” med en bunt mindre i vartannat lager, hade signifikant lägre medeltemperatur än både ”tall-kors3x3-otäckt” och ”tall-para-otäckt”. Detta berodde antagligen på en större luftgenomströmning i ”tall-kors2x3-otäckt” vältan vilket ventilerade ut värmen (Lehtikangas, 1999). Enligt Lehtikangas & Jirjis (1993a) kan täckning av vältan ge snabbare torkning vilket skulle kunna tolkas som ett resultat av högre temperatur i vältan. Detta argument sammanfaller med det faktum att den täckta vältan ”tall-para-täckt” hade den högsta innertemperaturen. En felkälla vid analysen av temperaturen i ”tall-para-täckt” är att den endast har en temperaturgivare till skillnad från de andra vältornas fyra givare. När det gäller björken har däremot den parallella vältan en signifikant högre temperatur än den korslagda med tre buntar i varje lager. Även om temperaturskillnaderna är statistiskt säkerställda är de väldigt små. En eventuell missvisande faktor är att jämförelser gjorts över en lång period. Exempelvis kan yttertemperaturen ha varierat kraftigare i vissa perioder vilket kan påverka temperaturerna i vältorna i olika grad vilket inte fångas upp av ett medelvärde över en lång period. Vältmönstren kan dock ha påverkat temperaturen på kort sikt, vilket eventuellt inte fångats upp av analysen som sträckt sig över sex månader.

För att se om vältornas mönster har påverkat temperaturen på kort sikt gjordes tre visuella analyser av kortare tidsperioder. Under två av perioderna (Figur 17 & 18) verkar den korslagda vältan ”tall-kors3x3-otäckt” hålla en jämnare temperatur än de övriga vältorna. ”Tall-kors3x3-otäckt” ser ut att hålla värmen längre på kvällen/natten och värmas upp långsammare under morgonen samt hålla en lägre temperatur under dagen. Detta kan vara ett

tecken på att vältan ”tall-kors3x3-otäckt” hade en högre densitet än andra mönster (Lehtikangas, 1999). Välta ”tall-para-otäckt” och ”tall-kors2x3-otäckt” följer varandra, dock tenderar ”tall-para-otäckt” att förlora temperatur snabbare på natten (Figur 18). Kanske släpper ”tall-kors2x3-otäckt” luftigare korslagda mönster (Andersson & Nordén, 2000) igenom mindre vind då den alltid har hälften av buntarnas långsida mot den förhärskade vindriktningen. Den parallella ”tall-para-otäckt” vältan har emellertid alltid alla buntarnas kortsidor eller långsidor vända mot vinden. Detta skulle kunna vara en förklaring till de tillfällen där ”tall-para-otäckt” får en lägre temperatur än ”tall-kors2x3-otäckt”. Exempelvis skulle luftgenomströmningen i ”tall-para-otäckt” kunna öka om vältans breddsida och därmed buntarnas kortsida är vänd mot vinden (Lehtikangas & Jirjis, 1993a), möjligtvis kan detta ha påverkat temperaturen. Den tredje perioden domineras av lägre och jämnare dygnstemperatur, antagligen på grund av sämre väder, exempelvis mer nederbörd (Figur 19). Temperaturen var då jämnare utan en tydlig skillnad mellan vältorna. Det sker även ett skifte där vältorna blir varmare än yttertemperaturen. Det bör dock påpekas att ytter-temperaturgivaren för samtliga perioder har samma fel i mätvärdena som diskuterats tidigare. Det kan innebära att eventuell nederbörd under perioden har kylt ned yttertermometern snabbare än givarna inne i högen (SMHI, 2015), vilket kan förklara varför högarna värms upp snabbare.

4.4 Rekommendationer

Det bör hållas i minnet att resultatens allmängiltighet är begränsad. Detta då studien utfördes på en lagringsplats i Norrlands kustregion strax norr om Umeå. Det råder lokala variationer i olika delar av Sverige vad gäller nederbörd, temperatur och period vilket kan påverka lagringsresultatet (Flinkman et al., 1986).

En styrka med försöket var att vältorna hade konstruerats på samma lokal och under samma period, således kan vissa abiotiska faktorer bortses ifrån och jämförbarheten mellan högarna ökar. Positivt var dessutom att antalet variationer i vältmönster var stor, täckpapp borde dock ha testats på fler vältor.

Det finns emellertid ett behov av ytterligare och mer omfattande studier med fler mätvärden vid olika tidpunkter. Fler mätvärden vid olika tidpunkter skulle därmed kunna förklara hur fukthaltsförändringar och eventuell återfuktning sker i buntar under lagringsperioden. Detta för att se om buntar följer samma mönster som vid lagring av grot (Hillebrand, 2000; Flinkman et al., 1986).

Studien visar att temperaturen skiljde sig signifikant beroende på vältornas mönster, dock går det inte att bevisa att denna skillnad har påverkat fukthalten. Andra faktorer som infiltration, vind och densitet kan ha hindrat buntarna från att torka. En ny studie bör även innehålla en analys av vältorna och buntarnas densitet kombinerat med vindmönster under lagring (Lehtikangas, 1999). En avsikt med studien var att komplettera och jämföra resultaten med Pöyrys (2014) rapport. Detta var dock svårt då studierna skiljde sig åt på ett flertal punkter exempelvis vad gäller lagringsperiodens längd, start och slut.

4.5 Slutsatser

- Ger täckning av materialet en lägre fukthalt efter lagring?

Svaret på frågan är nej. Höga standardavvikelser och få mätpunkter har sannolikt bidragit till att ingen korrelation kunde identifieras. Hypotesen kan inte bekräftas.

- Ger ett luftigare mönster (lägre densitet på vältan) en högre grad av torkning av bränslematerialet och därmed en lägre fukthalt?

Studien gav inga signifikanta skillnader i fukthalt beroende på vältans mönster. Dock kan densiteten i buntarna ha inverkat negativt på luftgenomströmningen (Lehtikangas, 1999). Även här har stora standardavvikelser noterats. Hypotesens bekräftas ej.

- Har vältornas mönster (korslagda eller parallella buntar) någon inverkan på temperaturen inne i vältorna?

Svaret på frågan är ja, men det kan ifrågasättas om korsläggning är luftigare än traditionella parallella mönster. I studien konstateras att högarnas medeltemperaturer är signifikant skilda från yttertemperaturen. Dock fanns det inte någon signifikant temperaturskillnad mellan ”tall-kors3x3-otäckt” och ”tall-para-otäckt”. Vilket motsäger antagandet att de korslagda vältornas mönster skulle vara luftigare och därmed påverka temperaturen i vältorna (Andersson & Nordén, 2000). Hypotesen bekräftas i de flesta av jämförelserna (Tabell 12).

Då denna studies resultat skiljer sig från Pöyrys (2014) bör man vara försiktig att dra slutsatser om fördelarna med buntar vid lagring. För fortsatta studier rekommenderas att vältor konstrueras på flera olika lokaler för att ta hänsyn till väder och vind. Eventuellt kan temperatur-mätning slopas och ersättas med fler variationer av högarnas mönster i kombination med täckpapp, till exempel ”tall-kors3x3-täckt” eller ”tall-kors2x3-täckt”. Om det skulle visa sig att korslagda buntar trots allt har en positiv effekt på torkningen, bör en kompletterande tidsstudie på konstruktionsarbetet av vältorna genomföras. Detta för att besvara frågan om det är ekonomiskt försvarbart att konstruera speciella vältmönster.

5. REFERENSER

- Andersson, G. & Nordén, B. (2000). *Fiberpac 370 Systemstudie komprimering av avverkningsrester*. Uppsala: Skogforsk (Arbetsrapport nr. 448).
- Bergström, D. Ulvcrona, T. Nordfjell, T. Egnell, G & Lundmark, T. (2010). *Skörd av skogsbränsle i förstagallringar*. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet (Arbetsrapport 281 2010) Tillgänglig: http://pub.epsilon.slu.se/4717/1/BERGSTROM_D_100608.pdf [2016-02-23].
- Bergström, D. Di Fulvio, F. Nuutinen, Y. & Johnson, L. (2015) *Demo report 15: Studies and demonstration on the use of a bundle-harvester system in early wood thinnings*. (INFRES, Demo reports 8-23 – D4.5, ss. 107 – 121.).
- Esping, B. (1992) *Trätorkning. 1a, grunder i torkning*. Stockholm: Stockholm Träteknik.
- Fixteri Oy. (2016) *FX15-buntare – hjärtat för effektiv avverkning*. Tillgänglig: <http://www.fixteri.fi/?q=sv/fx15-buntare-%E2%80%93-hj%C3%A4rtat-f%C3%B6r-effektiv-avverkning> [2016-02-24].
- Flinkman, M. Fredriksson, H. & Thörnqvist, T. (1986) *Barravfall hos hyggesrester som funktion av sommarexponeringens torkeffekt*. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet. (Rapport nr 174).
- Hillebrand, K. Martilla, M. & Nurmi, J. (2000). *Puupolttoaineiden laadunhallinta (Quality control of wood fuels)*. Jyväskylä, Finland: Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT). (Puuenergian teknologiaohjelman vuosikirja 2000. SS. 211).
- Lehtikangas, P. & Jirjis, R. (1993a). *Vältagring av avverkningsrester från barrträd under varierande omständigheter*. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet (Rapport 235).
- Lehtikangas, P. & Jirjis, R. (1993b). *Lagring av buntade hyggesrester – Projekt Skogskraft Rapport nr 17*. Vällingby: Vattenfall (Rapport från Vattenfall research bioenergi, 1993:22).
- Lehtikangas, P. (1999). *Lagringshandbok för trädbränslen*. 2. Uppl. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Persson, P.-E. (2009). *Arbete i avverkningslag. Arbetsmiljö, kvalitet, production*. Del 2, Praktisk produktion. 4 Uppl. Mora: Mora in Europe.
- Pettersson, M. & Nordfjell, T. (2007) *Fuel quality changes during seasonal storage of compacted logging residues and young trees*. Biomass and Bioenergy 31: 782-792.

Pöyry. (2014). *Competitiveness of the Fixteri technology*. Pöyry Management Consulting Oy.

Skogforsk (2011-06-06) *Skogsbränslen i Sverige* Tillgänglig:

<http://www.skogforsk.se/kunskap/projekt/effektivare-skogsbranslesystem-ess/skogsbranslen-i-sverige/> [2016-04-05].

SMHI. (2014-04-23) *Dataserier med normalvärden för perioden 1961-1990* Tillgänglig:

<http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur/dataserier-med-normalvarden-1.7354> [2016-03-13].

SMHI. (2015-03-27) *Hur mäts lufttemperatur?* Tillgänglig:

<http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/hur-mats-lufttemperatur-1.3839> [2016-04-06].

SMHI. (2016-01-26) *Svenska temperaturrekord* Tillgänglig:

<http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/svenska-temperaturrekord-1.5792> [2016-04-06].

Statens energimyndighet (2015a) *Energiläget 2015*. Eskilstuna: Statens energimyndighet (ET015:08) Tillgänglig: <https://energimyndigheten.a-w2m.se> [2016-02-23].

Statens Energimyndigheten (2015b-04-10) *Skogsbruket – en betydande*

skogsbränsleproducent, Tillgänglig: <http://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2014/skogsbruket--en-betydande-skogsbransleproducent/> [2016-04-05].

Statens energimyndighet (2015c) *Trädbränsle- och torvpriser*. Eskilstuna: Statens

energimyndighet (2015:3) Tillgänglig: <https://energimyndigheten.a-w2m.se> [2016-02-23].

Thörnqvist, T. (1984). *Hyggesresternas förändring på hygget under två*

vegetationsperioder. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet. (Rapport 150).